

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	古野 達也
論文題目	Missing-mass spectroscopy of short-lived nuclei at low-momentum transfer region opened by the MAIKo active target		
(論文内容の要旨)			
原子核の構造を明らかにする上で非弾性散乱は非常に有用なプローブである。非弾性散乱の反応断面積から得られる基底状態と励起状態の間の遷移行列要素は、2つの状態間の波動関数の重なりを表す物理量であり、これは理論計算で予想される値と直接比較可能である。非弾性散乱では、重心系の前方角度即ち低運動量移行領域において、反応断面積が大きくなる・反応機構が単純になるなどの利点があり、この領域での測定は特に重要である。 近年、不安定原子核を生成することのできる加速器施設の発展しつつある。それにより、これまでに安定な原子核に対して築いてきた核構模型が安定線から大きく離れた原子核においても成立するのか試験することが可能となった。不安定核では、安定核で発見された魔法数の破れや新たな魔法数の発現が報告されている。また、ハローや分子的構造といった原子核の新たな構造も発見されている。これらの不安定核に特有な現象を非弾性散乱によって明らかにすることは極めて重要である。 不安定核に対する非弾性散乱実験において、質量欠損分光法は標的からの反跳粒子のみを検出し励起エネルギーを算出するので、バイアスを受けない励起スペクトルを得ることが出来る。しかし、質量欠損分光法には重心系の前方角度で検出するべき反跳粒子のエネルギーが極めて低くなるという困難を伴う。 本研究では、低エネルギーの反跳粒子を検出するためにMAIKoアクティブ標的を開発した。MAIKoアクティブ標的では、荷電粒子の3次元的飛跡を捉えることが出来るtime projection chamber（TPC）検出器を用いている。MAIKoではTPC検出器の検出ガスを非弾性散乱の標的ガスとしても用いることで、散乱を検出器の内部で起こす。したがって、たとえ反跳粒子のエネルギーが低くてもMAIKoでこれを捉えることができる。 MAIKoを用いた初めての実験として、不安定核における陽子数$Z=6$の魔法数の検証を行った。近年、中性子過剰な炭素同位体では$Z=6$が魔法数になると指摘されている。本研究では$Z=6$の魔法数が陽子過剰な炭素同位体においても発現するかを検証するために、^{10}Cにおける基底状態から2_1^+状態への中性子遷移行列要素を決定した。大阪大学核物理研究センターにおいて、68 MeV/uの^{10}CビームをMAIKoへ照射し、アルファ非弾性散乱の散乱断面積を測定した。実験では反跳アルファ粒子の検出閾値を500 keVまで下げることに成功した。これによって、世界で初めてアルファ非弾性散乱を用いて不安定核における中性子遷移行列要素の測定に成功した。得られた中性子遷移行列要素を過去に測定された陽子遷移行列要素と比較することで、陽子過剰な^{10}Cでは$Z=6$の魔法性が保たれておらず、この魔法性は中性子過剰な炭素同位体に特有な性質であることを突き止めた。 MAIKoを用いた初めての実験は成功し、MAIKoが不安定核実験における質量欠損分光に有用であることが示された。今後、MAIKoのさらなる性能向上を図り、クラスター・分子構造の探索など様々な不安定核実験に適用する予定である。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

古野氏は、不安定原子核の構造を研究するために、新しくヘリウムガスを主成分（全体の96%）とする3次元飛跡検出器系を開発してきた。100 x 100 x 140 mm³の有感領域をもつTime Projection Chamber(TPC)型検出器である。この検出器により、従来測定が困難とされてきた α 粒子と不安定原子核との弾性散乱や非弾性散乱の測定を可能とした。このためには、通常行われてきた α 粒子ビームを標的原子核に照射して散乱させるのではなく、逆に、標的となる不安定原子核をビームとして標的ヘリウムガスと散乱させねばならない。この逆運動学で放出される α 粒子の反跳エネルギーが非常に低いため、新しいアクティブ標的を開発した。その結果、アルファ粒子のエネルギー測定閾値を500 keVにまで下げることに成功した。

古野氏は、新しい測定装置の動作確認を $\alpha + {}^{12}\text{C}$ の弾性散乱によって確認した後、 $\alpha + {}^{10}\text{C}$ の弾性散乱と励起エネルギー3.35 MeVにある 2_1^+ 励起状態への非弾性散乱の微分断面積を測定した。測定は、大阪大学核物理研究センターにおいて68 MeV/uのエネルギーをもった不安定核ビーム ${}^{10}\text{C}$ を利用して行った。この二次ビームは、エネルギー96 MeV/uの ${}^{12}\text{C}$ ビームにより生成されたものである。

$\alpha + {}^{10}\text{C}$ の弾性散乱の解析より、 ${}^{10}\text{C}$ のなかでの核子分布と α +核子の有効相互作用の情報が得られる。これをもとに非弾性散乱の微分断面積を歪曲波ボルン近似計算と比較することにより、中性子遷移行列要素の値として $M_n = 6.9 \pm 0.7 \pm 1.2 \text{ fm}^2$ を得た。この測定は、不安定原子核における初めての α 非弾性散乱による中性子遷移行列要素の測定となっている。

得られた ${}^{10}\text{C}$ の中性子遷移行列要素の値は、荷電対称な鏡映核である ${}^{10}\text{Be}$ の陽子遷移行列要素 M_p の値と非常に近く、荷電対称性が良く成り立っていることを示している。また、この2つの観測量の比 M_n/M_p は $1.05 \pm 0.11 \pm 0.17$ となっており、1に近い値となっている。このことは、最近 ${}^{16}\text{C}$ について行われた測定において示唆されている $Z=6$ の新しい魔法数の存在とは矛盾する結果となっている。中性子過剰側と陽子過剰側での違いが関与している可能性が考えられる。

以上のように、本論文は不安定原子核の構造研究の新しい手法を開発し、これを使って最初の実験データを取得・解析したものである。不安定原子核の構造研究を通常安定核の分光研究レベルへと精密化させる重要な研究である。共同研究における古野氏の貢献も十分としたものである。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降